

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 09180998 A

(43) Date of publication of application: 11.07.97

(51) Int. Cl.

H01L 21/20
H01L 21/205

(21) Application number: 07338419

(71) Applicant: FUJITSU LTD

(22) Date of filing: 26.12.95

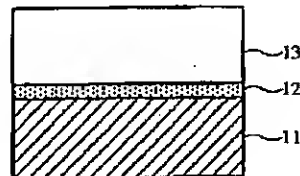
(72) Inventor: HORINO KAZUHIKO

(54) COMPOUND SEMICONDUCTOR DEVICE

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent the occurrence of a cracking by providing anisotropy in the thermal expansion coefficient of at least one of a semiconductor substrate and semiconductor epitaxial layer, and satisfying the specific relation between the surface expansion coefficient of each layer and the temperature difference from the crystal growth temperature to the ambient temperature.

SOLUTION: An AlN epitaxial layer 12 and GaN epitaxial layer 13 are sequentially grown on a 6H-SiC off substrate 11 in which the main surface of a substrate is formed off at 12° from (10 to 10) surface in $\langle 000 \rangle$ direction. The surface expansion coefficient β of the main surface of the substrate 11 and the surface expansion coefficient α of the layer 13 opposed to the main surface of the substrate 11 satisfy the relation of $(\alpha - \beta) \Delta T \geq 1.4 \times 10^{-3}$, where the temperature difference from the crystal growth temperature to the ambient temperature is ΔT . Thus, the GaN compound semiconductor layer is epitaxially grown without generating cracking.



COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-180998

(43)公開日 平成9年(1997)7月11日

(51)Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L	21/20		H 0 1 L	21/20
	21/205			21/205

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全6頁)

(21)出願番号	特願平7-338419	(71)出願人	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22)出願日	平成7年(1995)12月26日	(72)発明者	堀野 和彦 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
		(74)代理人	弁理士 柏谷 昭司 (外2名)

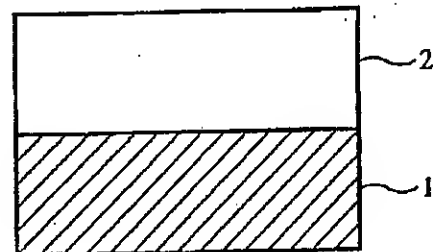
(54)【発明の名称】化合物半導体装置

(57)【要約】

【課題】 化合物半導体装置に関し、エピタキシャル成長層にクラッキングが発生することを防止し、高品質の化合物半導体装置を提供する。

【解決手段】 半導体基板1及び半導体エピタキシャル層2の少なくとも一方が熱膨張係数に異方性を有すると共に、半導体基板1の主面の面膨張係数 β と、この主面に面する半導体エピタキシャル層2の面膨張係数 α とが、 $(\beta - \alpha) \cdot \Delta T \leq 1.4 \times 10^{-2}$ の関係を満たす様に主面を選定する。

本発明の原理的構成の説明図



1：半導体基板

2：半導体エピタキシャル層

【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に異種半導体エピタキシャル層を設けた化合物半導体装置において、前記半導体基板及び半導体エピタキシャル層の少なくとも一方が熱膨張係数に異方性を有すると共に、前記半導体基板の主面の面膨張係数 β と、前記主面に面する半導体エピタキシャル層の面膨張係数 α とが、結晶成長温度から室温までの温度差を ΔT とした場合に、

$$(\alpha - \beta) \cdot \Delta T \leq 1.4 \times 10^{-3}$$

の関係を満たすことを特徴とする化合物半導体装置。

【請求項2】 上記半導体基板と半導体エピタキシャル層との間に、厚さ $0.1\mu\text{m}$ 以下の中間層を介在させたことを特徴とする請求項1記載の化合物半導体装置。

【請求項3】 上記半導体基板がSiC基板からなり、且つ、上記半導体エピタキシャル層が、V族元素がNのIII-V族化合物半導体からなることを特徴とする請求項1または2に記載の化合物半導体装置。

【請求項4】 上記III-V族化合物半導体がGaNからなり、且つ、上記SiC基板が6H-SiC基板または4H-SiC基板のいずれかであることを特徴とする請求項3記載の化合物半導体装置。

【請求項5】 上記SiC基板の主面とc軸のなす角 θ が、 $0^\circ \leq \theta \leq 53^\circ$ であることを特徴とする請求項4記載の化合物半導体装置。

【請求項6】 上記SiC基板の主面が、 $\{10-10\}$ 面から $\{0001\}$ 方向に、 $12 \pm 3^\circ$ オフした面であることを特徴とする請求項5記載の化合物半導体装置。

【請求項7】 上記SiC基板の主面が、 $\{11-20\}$ 面から $\{0001\}$ 方向に、 $12 \pm 3^\circ$ オフした面であることを特徴とする請求項5記載の化合物半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は化合物半導体装置に関するものであり、特に、6H-SiC等の六方晶系の半導体基板上に、GaN等のウルツ鉱型化合物半導体を整合性良くヘテロエピタキシャル成長させる化合物半導体装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、青色発光素子として用いられているGaNは、ウルツ鉱型化合物半導体であるため、類似の結晶構造を有する六方晶系の6H-SiC基板上にMOVPE法（有機金属気相成長法）を用いてエピタキシャル成長させていた。

【0003】 例えば、 $\{0001\}$ 面_{Si}の6H-SiC基板、即ち、Si面が露出した6H-SiC基板を用意し、TMA（トリメチルアルミニウム）を $20 \sim 200\mu\text{mol}/\text{分}$ 、アンモニア（NH₃）を $20000 \sim 200000\mu\text{mol}/\text{分}$ （ $0.02 \sim 0.2\text{mol}/$

分）、及び、キャリアガスとしての水素を流し、成長圧力を $70 \sim 760\text{Torr}$ 、基板温度を $800 \sim 1100^\circ\text{C}$ とした状態で、 $0.02 \sim 0.1\mu\text{m}$ のAlN中間層を成長させたのち、引き続いて、TMG（トリメチルガリウム）を $10 \sim 100\mu\text{mol}/\text{分}$ 、アンモニア（NH₃）を $0.02 \sim 0.2\text{mol}/\text{分}$ 、及び、キャリアガスとしての水素を流し、成長圧力を $70 \sim 760\text{Torr}$ 、基板温度を $800 \sim 1100^\circ\text{C}$ とした状態で、GaNエピタキシャル層を成長させている。

【0004】 なお、この場合の成長層速度は、AlN中間層が $0.1 \sim 1\mu\text{m}/\text{時}$ であり、GaNエピタキシャル層が $0.5 \sim 5\mu\text{m}/\text{時}$ である。また、この場合、GaNエピタキシャル層のa軸及びc軸は、6H-SiC基板のa軸及びc軸方向に一致することになる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、従来のヘテロエピタキシャル成長においては、GaNエピタキシャル層を $2\mu\text{m}$ 程度堆積させると、結晶成長終了後、結晶成長温度、即ち、 1000°C から室温まで降温する過程で、GaNエピタキシャル層の表面に約 $200 \sim 250\mu\text{m}$ 間隔でクラッキングが発生し、発光素子等のデバイスを形成する妨げになっている。

【0006】 即ち、デバイスを形成するためには、 $2\mu\text{m}$ 以上、例えば、 $4\mu\text{m}$ 程度の厚さのエピタキシャル層が必要になるが、約 $1\mu\text{m}$ を超えたあたりからクラッキングの発生が始まり、膜厚の増大に伴って、クラッキングの発生頻度も増加し、 $2\mu\text{m}$ の厚さにおいて、約 $200 \sim 250\mu\text{m}$ 間隔でクラッキングが発生し、チップ面積、例えば、青色発光ダイオードの $300 \sim 500\mu\text{m}$ に比べて間隔が小さいので、各チップにクラックが存在することになり、このクラックがデバイスの発光特性の劣化に影響を与えるためである。

【0007】 この事情を図3を参照して説明する。

図3参照

図3において、符号14は $\{0001\}$ 面_{Si}、即ち、成長面の法線がC軸方向である6H-SiC基板上にエピタキシャル成長させたGaNエピタキシャル層であり、結晶成長終了直後に破線で示す形状であったものが、室温までの降温過程において、実線で示す形状に変形する。

【0008】 これは、GaNと6H-SiCとの線熱膨張係数が異なるためであり、例えば、a軸方向の線熱膨張係数 α_a は、GaNが $5.59 \times 10^{-6}/\text{K}$ であるのに対して、6H-SiCは $4.2 \times 10^{-6}/\text{K}$ と小さく、また、c軸方向の線熱膨張係数 α_c は、GaNが $3.17 \times 10^{-6}/\text{K}$ であるのに対して、6H-SiCは $4.68 \times 10^{-6}/\text{K}$ と大きく、両者とも熱膨張係数に異方性を有している。

【0009】 したがって、結晶成長終了時に6H-SiC基板と格子整合していたGaNエピタキシャル層12

10

20

30

40

50

は、降温過程において x 軸方向、即ち、 x 方向及び y 方向の線熱膨張係数が $6H-SiC$ より大きいので、 x 方向及び y 方向に $6H-SiC$ よりも収縮しようとするが、逆に、 $6H-SiC$ が相対的に収縮しないので引張応力が働く。なお、 x 方向及び y 方向に引っ張られる結果、 z 方向、即ち、 c 軸方向においては圧縮応力が働き、 c 軸方向には縮むことになる。

【0010】この x 方向及び y 方向に働く引張応力が、クラッキング発生の原因となるため、 GaN エピタキシャル層12の厚さが厚くなるにつれて、クラッキングが発生しやすくなるものである。

【0011】したがって、本発明は、エピタキシャル成長層にクラッキングが発生することを防止し、高品質の化合物半導体装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】図1は本発明の原理的構成の説明図であり、この図1を参照して本発明における課題を解決するための手段を説明する。

図1参照

(1) 本発明は、半導体基板1上に異種半導体エピタキシャル層2を設けた化合物半導体装置において、半導体基板1及び半導体エピタキシャル層2の少なくとも一方が熱膨張係数に異方性を有すると共に、半導体基板1の主面の面熱膨張係数 β と、この主面に面する半導体エピタキシャル層2の面熱膨張係数 α とが、結晶成長温度から室温までの温度差を ΔT とした場合、

$$(\alpha - \beta) \cdot \Delta T \leq 1.4 \times 10^{-3}$$

の関係を満たすことを特徴とする。

【0013】この様に、半導体基板1及び半導体エピタキシャル層2の少なくとも一方が熱膨張係数に異方性を有する場合にも、半導体基板1の主面の面熱膨張係数 β と、この主面に面する半導体エピタキシャル層2の面熱膨張係数 α との関係を $(\alpha - \beta) \cdot \Delta T \leq 1.4 \times 10^{-3}$ にすることによって、 x 方向及び y 方向の少なくとも一方の応力を圧縮応力にすることができるので、クラッキングの発生を低減することができる。

【0014】(2) また、本発明は、上記(1)において、半導体基板1と半導体エピタキシャル層2との間に、厚さ $0.1 \mu m$ 以下の中間層を介在させたことを特徴とする。

【0015】この様に、厚さ $0.1 \mu m$ 以下の AlN 等の中間層を介在させることによって、その上に設ける GaN 等の半導体エピタキシャル層2の結晶性を良好にすることができる。

【0016】(3) また、本発明は、上記(1)または(2)において、半導体基板1が SiC 基板からなり、且つ、半導体エピタキシャル層2が、 V 族元素が N のIII-V族化合物半導体からなることを特徴とする。

【0017】上記(1)または(2)の条件は、正方晶系とは結晶構造の異なる、六方晶系結晶である SiC 及

びウルツ鉱型結晶である V 族元素が N のIII-V族化合物半導体の組合せに有用である。

【0018】(4) また、本発明は、上記(3)において、III-V族化合物半導体が GaN からなり、且つ、 SiC 基板が $6H-SiC$ 基板または $4H-SiC$ 基板のいずれかであることを特徴とする。

【0019】上記(1)または(2)の条件は、特に、 $6H-SiC$ 基板または $4H-SiC$ 基板のいずれかと、 GaN の組合せに有用である。

【0020】(5) また、本発明は、上記(4)において、 SiC 基板の主面と c 軸のなす角 θ が、 $0^\circ \leq \theta \leq 53^\circ$ であることを特徴とする。

【0021】 GaN の (0001) 面に対して、上記の $(\alpha - \beta) \cdot \Delta T \leq 1.4 \times 10^{-3}$ 、即ち、面熱膨張係数が略等しくなる関係は、 SiC 基板の主面と c 軸のなす角 θ を $0^\circ < \theta \leq 53^\circ$ にすることによって満たすことができる。

【0022】(6) また、本発明は、上記(5)において、 SiC 基板の主面が、 $\{10-10\}$ 面から $[0001]$ 方向に、 $12 \pm 3^\circ$ オフした面であることを特徴とする。

【0023】この $6H-SiC$ 基板の $\{10-10\}$ 面から $[0001]$ 方向、即ち、 $(10-10)$ 面から $<0001>$ 方向、或いは、 $<000-1>$ 方向に、 12° オフした面が、 $(\alpha - \beta) \cdot \Delta T = 0$ 、即ち、 $\alpha = \beta$ の関係を満たす GaN の (0001) 面と面熱膨張係数の等しくなる面であり、 $\pm 3^\circ$ は 12° オフした面を出すためのマージンである。なお、本明細書においては、通常“1バー”或いは“2バー”で表される指数を便宜的に、“-1”或いは“-2”等で表記する。

【0024】(7) また、本発明は、上記(5)において、 $6H-SiC$ 基板の主面が、 $\{11-20\}$ 面から $[0001]$ 方向に、 $12 \pm 3^\circ$ オフした面であることを特徴とする。

【0025】この $6H-SiC$ 基板の $\{11-20\}$ 面から $[0001]$ 方向、即ち、 $(11-20)$ 面から $<0001>$ 方向、或いは、 $<000-1>$ 方向に、 12° オフした面が、 $(\alpha - \beta) \cdot \Delta T = 0$ 、即ち、 $\alpha = \beta$ の関係を満たす GaN の (0001) 面と面熱膨張係数の等しくなる面であり、 $\pm 3^\circ$ は 12° オフした面を出すためのマージンである。

【0026】

【発明の実施の形態】図2を参照して、本発明の実施の形態を説明する。

図2(a)参照

まず、基板の主面が $(10-10)$ 面から $<0001>$ 方向に 12° オフした $6H-SiC$ オフ基板11を用意し、TMA(トリメチルアルミニウム)を $20 \sim 200 \mu mol/分$ 、好適には $180 \mu mol/分$ 、アンモニア(NH_3)を $0.02 \sim 0.2 mol/分$ 、好適には

0.1mol/分、及び、キャリアガスとしての水素を500~3000sccm、好適には1500sccm流し、成長圧力を70~760Torr、好適には100Torr、基板温度を800~1100℃、好適には1000℃とした状態で、0.02~0.1μm、好適には0.05μmのAlNエピタキシャル層12を成長させる。

【0027】引き続き、TMG（トリメチルガリウム）を10~100μmol/分、好適には44μmol/分、アンモニア（NH₃）を0.02~0.2mol/分、好適には0.1mol/分、及び、キャリアガスとしての水素を500~3000sccm、好適には1500sccmを流し、成長圧力を70~760Torr、好適には100Torr、基板温度を800~1100℃、好適には1000℃とした条件のMOVPE法を用いて、厚さ3μmのGaNエピタキシャル層13を成長させる。

【0028】なお、この場合の成長速度も、AlNエピタキシャル層12が0.1~1μm/時であり、GaNエピタキシャル層13が0.5~5μm/時であり、また、GaNエピタキシャル層13のa軸及びc軸は、6H-SiCオフ基板11のa軸及びc軸方向に一致することになり、光学顕微鏡で表面観察した結果、クラッキングの発生は見られなかった。

【0029】図2（b）参照

6H-SiCオフ基板11上に成長したGaNエピタキシャル層13は、降温過程において6H-SiCオフ基

$$\begin{aligned} 0 &= (5.59 - 4.2) \times 10^{-6} \times \Delta T \cdot (1 + \sin^2 \theta) + \\ &\quad (3.17 - 4.68) \times 10^{-6} \times \Delta T \cdot (1 - \sin^2 \theta) \\ &\div (1.39) \times 10^{-6} \times \Delta T \cdot (1 + \sin^2 \theta) - \\ &\quad 1.51 \times 10^{-6} \times \Delta T \cdot (1 - \sin^2 \theta) \\ &\div 10^{-6} \times \Delta T \{-0.12 + 2.9 \sin^2 \theta\} \end{aligned}$$

となる。

【0033】したがって、 $\sin^2 \theta = 0.12 \div 2.9 \div 0.0414$
 $\therefore \theta \div 12^\circ$

となり、上記の実施の形態において、オフ角を12°にすることによって、6H-SiCオフ基板11とGaNエピタキシャル層14の面膨張係数を略等しくすることができる。

【0034】一方、 $\theta = 90^\circ$ 、即ち、(0001)_{si}面の6H-SiC基板上にGaNエピタキシャル層を成長させた場合には、

$$(\alpha - \beta) \cdot \Delta T \div 2 (\alpha_{a1} - \alpha_{a2}) \cdot \Delta T \div 2.78 \times 10^{-6} \times \Delta T$$

※

$$\begin{aligned} (\alpha - \beta) \cdot \Delta T &\div 10^{-6} \times \Delta T \{-0.12 + 2.9 \sin^2 \theta\} \\ &= 1.4 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

となる。

【0037】そして、温度差ΔTを、結晶成長温度の下限である、ΔT≧800°とした場合には、

*板11のa軸方向、即ち、図におけるx方向の線膨張係数が6H-SiCより大きいので、x方向においては、従来と同様の引張応力が作用する。

【0030】一方、y方向、即ち、6H-SiCのc軸から12°離れた方向においては、6H-SiCより線膨張係数が小さいので圧縮応力が作用し、全体として破線で示す形状から実線で示す形状に変化することになるが、12°オフした面における全体の面膨張係数βは、GaNの(0001)面の面膨張係数αと略等しくなるのでクラッキングが発生しないことになる。

【0031】即ち、6H-SiCオフ基板11の主面とSiCのC軸のなす角をθとし、GaNエピタキシャル層13の面膨張係数、a軸方向の線膨張係数、及び、c軸方向の線膨張係数を、夫々α、α_{a1}、及び、α_{a2}とし、また、6H-SiCオフ基板11の面膨張係数、a軸方向の線膨張係数、及び、c軸方向の線膨張係数を、夫々β、α_{c1}、及び、α_{c2}とし、さらに、結晶成長温度から室温までの温度差をΔTとした場合、面膨張係数の差と温度差の積(α-β)・ΔTは、

$$\begin{aligned} (\alpha - \beta) \cdot \Delta T &\div (\alpha_{a1} - \alpha_{a2}) \cdot \Delta T \cdot (1 + \sin^2 \theta) + \\ &\quad (\alpha_{c1} - \alpha_{c2}) \cdot \Delta T \cdot (1 - \sin^2 \theta) \end{aligned}$$

で表される。

【0032】ここで、α=βであるならば、
 $0 = (\alpha_{a1} - \alpha_{a2}) \cdot \Delta T \cdot (1 + \sin^2 \theta) + (\alpha_{c1} - \alpha_{c2}) \cdot \Delta T \cdot (1 - \sin^2 \theta)$
 となり、

※となり、ΔT≧1000°とした場合に、

$$(\alpha - \beta) \cdot \Delta T \div 2.78 \times 10^{-3} \div 2.8 \times 10^{-3}$$

となる。

【0035】この(0001)_{si}面の6H-SiC基板上にGaNを1μm以上成長させた場合にクラッキングが発生するので、発光素子に必要な2μm以上の膜厚においてクラッキングを発生させないためには、面膨張係数の関係が2.8×10⁻³の半分以下、即ち、

$$(\alpha - \beta) \cdot \Delta T \leq 1.4 \times 10^{-3}$$

にする必要がある。

【0036】ここで、(α-β)・ΔT=1.4×10⁻³となるθを求めると、

$$\begin{aligned} \{-0.12 + 2.9 \sin^2 \theta\} &= 1.4 \div 800 \times \\ &10^3 = 1.75 \end{aligned}$$

よって、

$$\sin^2 \theta = (1.75 + 0.12) \div 2.9 \div 0.6448$$

となり、よって、

$$\theta \div 53^\circ$$

となる。

【0038】したがって、上記の $(\alpha - \beta) \cdot \Delta T \leq 1.4 \times 10^{-2}$ の条件を満たすためには、800~1100℃の成長温度条件において、6H-SiCオフ基板11の主面とSiCのC軸のなす角 θ を、 $0 \leq \theta \leq 53^\circ$

にする必要がある。

【0039】なお、上記の実施の形態の説明においては、単一層の成長工程しか説明していないが、基板として(10-10)面から<0001>方向にオフした基板を用いているため、基板の劈開が可能であり、劈開により対向する1対の端面を共振器とすることによって青色半導体レーザを得ることができる。

【0040】また、上記の実施の形態の説明においては、c軸、即ち、<0001>方向からのオフ角を12°としたが、純粋に12°である必要はなく、12°オフした面を面出しする際のマージンを考慮して12±3°であれば良く、オフする方向は<000-1>方向でも同じである。

【0041】また、上記の実施の形態の説明においては、オフする方向を(10-10)面から<0001>方向にオフしているが、(11-20)面から<0001>方向、或いは、<000-1>方向にオフした面でも良く、さらに、これらの結晶面に結晶学的に等価な面であれば良い。

【0042】即ち、6H-SiCオフ基板の主面は、{10-10}面、或いは、{11-20}面から[0001]方向に $0^\circ \leq \theta \leq 53^\circ$ を満たす θ だけ傾いた面であれば良い。

【0043】また、上記の実施の形態においては、半導体基板として6H-SiCを用いているが、結晶多形の

一つである4H-SiCを用いても良いものである。

【0044】また、上記の実施の形態においては、従来例と同様に、GaNエピタキシャル層13を成長する前に、0.02~0.1 μ mのAlNエピタキシャル層12を成長させているが、これは、結晶成長核の発生密度を大きくして、その上に設けるGaNエピタキシャル層13の結晶性を良好にするためであり、原理的には必要のないものである。AlNエピタキシャル層12の成長を省略して、6H-SiCオフ基板11上にGaNエピタキシャル層13を直接成長させても良い。

【0045】さらに、上記の実施の形態においては、半導体エピタキシャル層として、GaNを用いているが、GaNに限られるものではなく、同じウルツ鉱型結晶構造を有するAlN或いはInNを用いても良く、さらには、これらの混晶であるAl_xGa_yIn_{1-x-y}Nを用いても良いものである。

【0046】

【発明の効果】本発明によれば、有機金属気相成長法によって、6H-SiC等の半導体基板上にクラッキングを発生させずにGaN系化合物半導体層をエピタキシャル成長させることができ、高品質の青色発光ダイオード、或いは、青色半導体レーザを作製することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理的構成の説明図である。

【図2】本発明の実施の形態の説明図である。

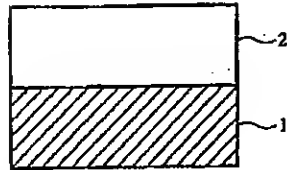
【図3】従来のエピタキシャル層の歪みの説明図である。

【符号の説明】

- 1 半導体基板
- 2 半導体エピタキシャル層
- 11 6H-SiCオフ基板
- 12 AlNエピタキシャル層
- 13 GaNエピタキシャル層
- 14 GaNエピタキシャル層

【図1】

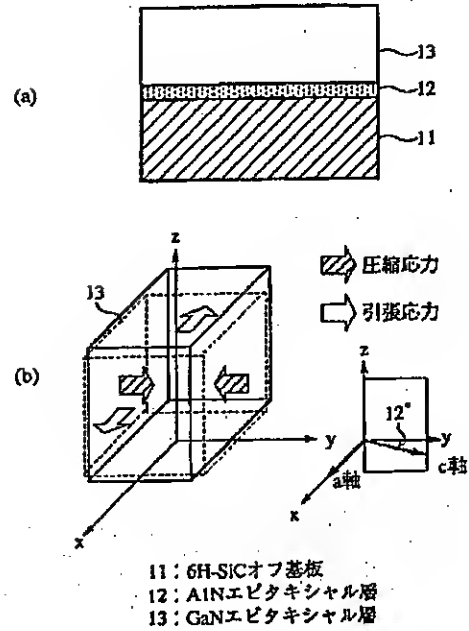
本発明の原理的構成の説明図



- 1: 半導体基板
2: 半導体エピタキシャル層

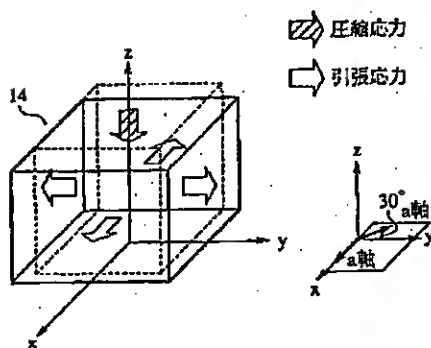
【図2】

本発明の実施の形態の説明図



【図3】

従来のエピタキシャル層の歪みの説明図



- 14: GaNエピタキシャル層

